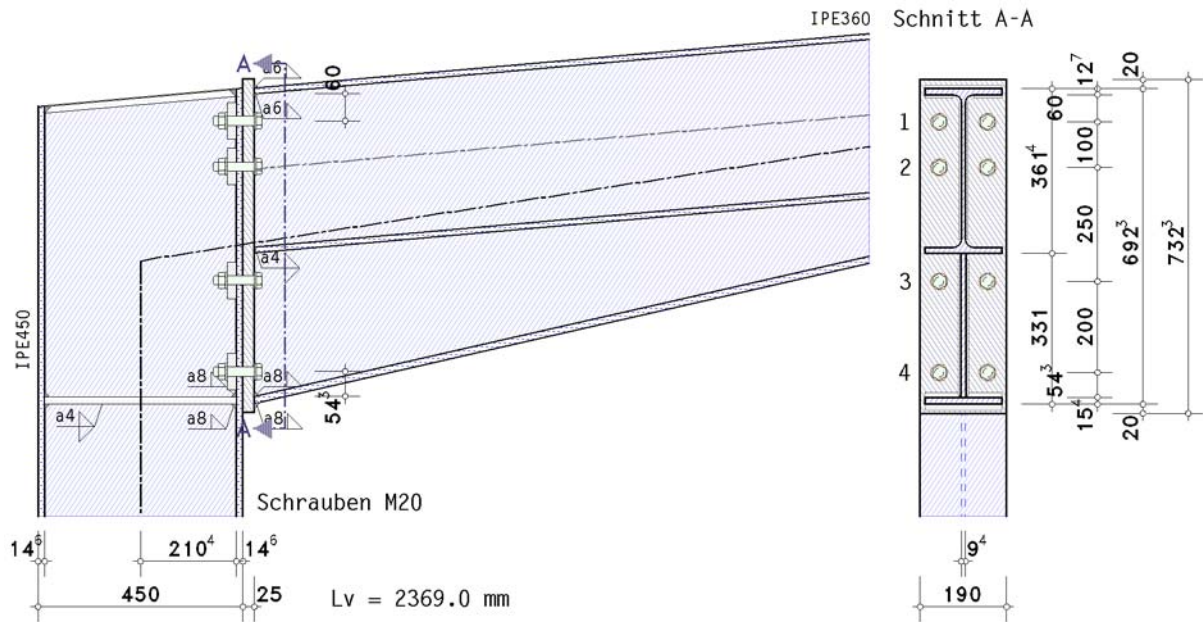


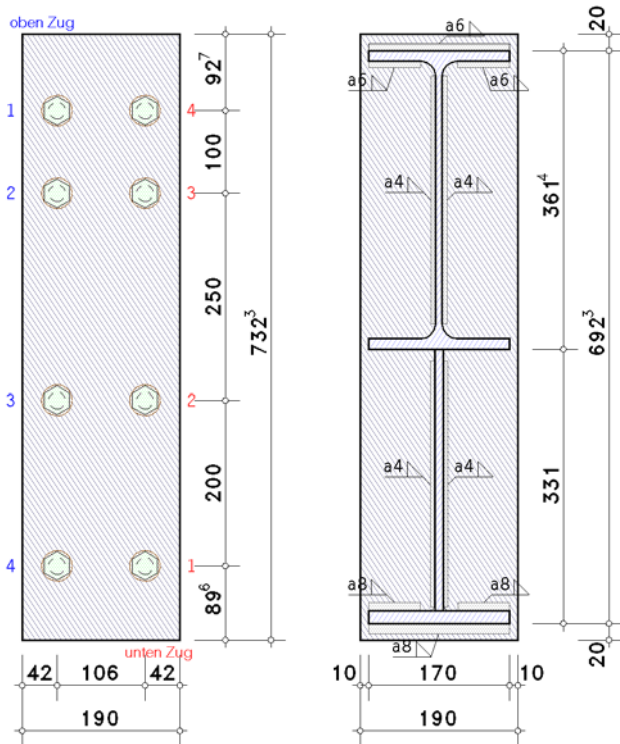
POS. 2: WAGENKNECHT 7.7.2

Rahmenecke

EC 3-1-8 (12.10), NA: Deutschland



Details



Stahlsorte

Stahlgüte S 235

Parameter der Stütze

Profil IPE450

Verstärkung des Profils durch Quersteifen (Stegsteifen in Höhe von Trägerzug- und -druckflansch, $d_{st} = 674.8$ mm):

Dicke $t_{st} = 15.0$ mm

Aussparung an den Steifen $c_{st} = 25.0$ mm

Schweißnähte $a_{st,f} = 8.0$ mm, $a_{st,w} = 4.0$ mm

Parameter des Trägers

Profil IPE360

Neigungswinkel des Profils gegen die Horizontale $\alpha_b = 5.00^\circ \Rightarrow$ Profilhöhe im Anschluss $h_b = h / \cos(\alpha_b) = 361.4$ mm

Neigungswinkel der Voute gegen die Horizontale $\alpha_v = 12.80^\circ \Rightarrow$ Voutenwinkel gegen den Träger $\Delta\alpha_v = 7.80^\circ$



Länge der Voute $L_v = 2369.0$ mm, Voutenhöhe im Anschluss $h_v = L_v \cdot (\tan(\alpha_v) - \tan(\alpha_b)) = 331.0$ mm
 Stegdicke $t_{w,v} = 10.0$ mm, Flanschbreite, -dicke $b_{f,v} = 170.0$ mm, $t_{f,v} = 15.0$ mm
 Gesamte Trägerhöhe im Anschluss $h_{ges} = h_b + h_v = 692.3$ mm

Schrauben

Schraube, Festigkeitsklasse 10.9, Schraubengröße M20
 große Schlüsselweite (HV-Schraube), vorgespannt
 Schaft liegt in der Scherfuge
 Stützenflanschverstärkung: Dicke $t_{bp} = 20.0$ mm

Nachweisparameter

geschraubter Stirnblechanschluss:

Dicke $t_p = 25.0$ mm, Länge $l_p = 732.3$ mm, Breite $b_p = 190.0$ mm
 Überstände $h_{p,o} = 20.0$ mm, $h_{p,u} = 20.0$ mm

Schrauben im Anschluss:

4 Schraubenreihe(n) mit je 2 Schrauben
 davon 2 Schraubenreihen oben (M^+) unter Zugbelastung (Reihen 1-2)
 und 2 Schraubenreihen zur Querkraftübertragung bei Zug oben (Reihen 3-4)
 davon 2 Schraubenreihen unten (M^-) unter Zugbelastung (Reihen 3-4)
 und 1 Schraubenreihe zur Querkraftübertragung bei Zug unten (Reihe 4)
 Achsabstand der Schrauben zum seitlichen Rand des Stirnblechs $e_2 = 42.0$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum oberen Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_o = 92.7$ mm

Achsabstand der letzten Schraubenreihe zum unteren Rand des Stirnblechs (Endreihe) $e_u = 89.6$ mm

Achsabstand der ersten Schraubenreihe zum freien Rand der Stütze (Endreihe) $e_1' = 69.2$ mm

Achsabstand der Schraubenreihen voneinander $p_{1-2} = 100.0$ mm, $p_{2-3} = 250.0$ mm, $p_{3-4} = 200.0$ mm

Schweißnähte im Anschluss:

Trägerflansch oben: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 6.0$ mm, Öffnungswinkel $\varphi = 85^\circ$

Trägersteg: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 4.0$ mm

Trägerflansch unten: Kehlnaht, Nahtdicke $a = 8.0$ mm, Öffnungswinkel $\varphi = 103^\circ$

Schnittgrößen im Anschnitt der Verbindung senkrecht zur Anschlussebene

Lk 1: $N_{d1} = 45.70$ kN $M_{d1} = 283.00$ kNm $V_{d1} = 87.00$ kN

Teilsicherheitsbeiwerte

Beanspruchbarkeit von Querschnitten $\gamma_{M0} = 1.00$

Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen $\gamma_{M1} = 1.10$

Beanspruchbarkeit von Schrauben, Schweißnähten, Blechen auf Lochleibung $\gamma_{M2} = 1.25$

Hinweise

Bei gevouteten Trägern wird der untere Flansch des Walzprofils nicht berücksichtigt. Es wird ein fiktives geschweißtes Profil aus dem oberen Trägerflansch, dem Trägersteg und dem Voutenflansch gebildet.

Der Anschluss der Voute an den Träger wird nicht nachgewiesen.

Die Schweißnähte der Verbindung werden nicht nachgewiesen.

Komponentenmethode

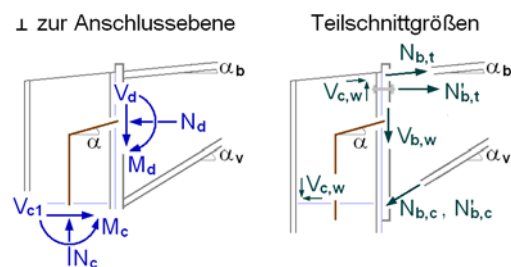
Abstände der Schraubenreihen am Stirnblech

Randabstand:	$e_2 = 42.0$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 26.4$ mm,	$e_2 = 42.0$ mm $< 4 \cdot t_{min} + 40$ mm = 98.4 mm
Lochabstand:	$p_2 = 190.0$ mm $> 2.4 \cdot d_0 = 52.8$ mm,	$p_2 = 190.0$ mm $< \min(14 \cdot t_{min}, 200$ mm) = 200.0 mm
Randabstand:	$e_1 = 92.7$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 26.4$ mm,	$e_1 = 92.7$ mm $< 4 \cdot t_{min} + 40$ mm = 98.4 mm
Lochabstand:	$p_1 = 100.0$ mm $> 2.2 \cdot d_0 = 48.4$ mm,	$p_1 = 100.0$ mm $< \min(14 \cdot t_{min}, 200$ mm) = 200.0 mm
Lochabstand:	$p_1 = 250.0$ mm $> 2.2 \cdot d_0 = 48.4$ mm,	$p_1 = 250.0$ mm $> \min(14 \cdot t_{min}, 200$ mm) = 200.0 mm !!
Lochabstand:	$p_1 = 200.0$ mm $> 2.2 \cdot d_0 = 48.4$ mm,	$p_1 = 200.0$ mm $\geq \min(14 \cdot t_{min}, 200$ mm) = 200.0 mm
Randabstand:	$e_1 = 89.6$ mm $> 1.2 \cdot d_0 = 26.4$ mm,	$e_1 = 89.6$ mm $< 4 \cdot t_{min} + 40$ mm = 98.4 mm

Maximale Rand- und Lochabstände müssen nur zur Vermeidung von Korrosion sowie zur Verhinderung lokalen Beulens eingehalten werden.

Lk 1:

Bemessungsgrößen



Neigungswinkel: $\alpha_b = 5.0^\circ$, $\alpha_v = 12.8^\circ \Rightarrow \alpha = (\alpha_b + \alpha_v) / 2 = 8.9^\circ$

Schnittgrößen senkrecht zur Anschlussebene

$N_d = 45.70$ kN

$$M_d = 283.00 \text{ kNm}$$

$$V_d = 87.00 \text{ kN}$$

Anschnitt Stütze (unten):

$$N_{c,Ed} = V_d = 87.00 \text{ kN}$$

$$V_{c,Ed} = N_d = 45.70 \text{ kN}$$

$$M_{c,Ed} = M_d - N_d \cdot e_3 + V_d \cdot e_1 = 287.93 \text{ kNm}, \quad e_1 = 225.0 \text{ mm}, \quad e_3 = 320.5 \text{ mm}$$

Teilschnittgrößen

Schnittgrößen im Anschnitt Stirnblech-Träger: $M'_d = M_d + N_d \cdot t_{ep} \cdot \tan(\alpha) - V_d \cdot t_{ep} = 281.00 \text{ kNm}$

$$N_{b,t} = (-N_d \cdot z_{bu} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_b) = 393.93 \text{ kN}, \quad z_b = 678.3 \text{ mm}, \quad z_{bu} = 324.4 \text{ mm}$$

$$N_{b,c} = (N_d \cdot z_{bo} / z_b + M'_d / z_b) / \cos(\alpha_v) = 449.30 \text{ kN}, \quad z_b = 678.3 \text{ mm}, \quad z_{bo} = 353.8 \text{ mm}$$

Querschnittstragfähigkeit

Stütze

plastischer Querschnittsnachweis für $M_{Ed} = -287.93 \text{ kNm}$, $N_{Ed} = -87.00 \text{ kN}$, $V_{Ed} = 45.70 \text{ kN}$

elastische Spannungen: $\max |\sigma_x| = 20.08 \text{ kN/cm}^2$, $\max \tau = 1.23 \text{ kN/cm}^2$, $\max \sigma_v = 20.09 \text{ kN/cm}^2$

plastisches Grenzmoment: $M_{pl,N,Q} = 387.31 \text{ kNm}$

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.747 < 1$ **ok.**, c/t-Verhältnis $U_{c/t} = 0.366 < 1$ **ok.**

Träger

plastischer Querschnittsnachweis für $M_{Ed} = -283.00 \text{ kNm}$, $N_{Ed} = -45.70 \text{ kN}$, $V_{Ed} = 87.00 \text{ kN}$

elastische Spannungen: $\max |\sigma_x| = 13.26 \text{ kN/cm}^2$, $\max \tau = 1.82 \text{ kN/cm}^2$, $\max \sigma_v = 13.28 \text{ kN/cm}^2$

plastisches Grenzmoment: $M_{pl,N,Q} = 585.86 \text{ kNm}$

Ausnutzungen: Tragfähigkeit $U_\sigma = 0.490 < 1$ **ok.**, c/t-Verhältnis $U_{c/t} = 0.484 < 1$ **ok.**

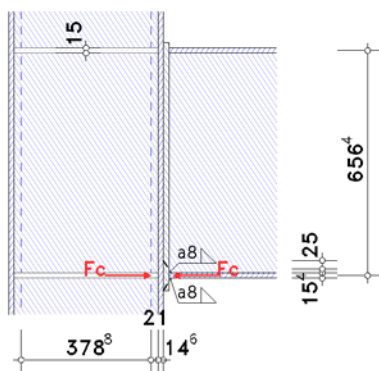
Grundkomponenten

Stirnblechanschluss: maßgebende Grundkomponenten: 2, 3, 4, 5, 8, 10, 20

Grundkomponente 2: Stützensteg mit Querdruckbeanspruchung

Übertragungsparameter (Tabelle 5.4) $\beta = 1.0$

Maximale Längsdruckspannung im Stützensteg $\sigma_{com,Ed} = 170.38 \text{ N/mm}^2$



In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Verstärkung des Stags durch Quersteifen:

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 6.0 \cdot \varepsilon \leq 9 \cdot \varepsilon \Rightarrow$ Q-Klasse $1 \leq 2$ **ok.**

Mindestanforderung an das Trägheitsmoment der Steifen:

Länge des Beulfeldes (Abstand der Steifen) $a = 656.4 \text{ mm}$

Steghöhe zwischen den Flanschen $h_{wc} = 420.8 \text{ mm}$

Trägheitsmoment der Steifen $I_{st} = 857.38 \text{ cm}^4$

Mindestträgheitsmoment für $a/h_{wc} = 1.56 \geq 2^{1/2}$: $I_{st,min} = 26.21 \text{ cm}^4 < I_{st}$ **ok.**

Anforderung an die Steifen zur Vermeidung von Drillknicken:

Torsionsträgheitsmoment der Steifen $I_T = 10.16 \text{ cm}^4$

polares Trägheitsmoment der Steifen $I_p = 94.58 \text{ cm}^4$

$I_T / I_p \approx 0.107 > 0.006 = 5.3 \cdot f_{y,st} / E_{st}$ **ok.**

Tragfähigkeit des ausgesteiften Stags mit Querdruckbeanspruchung:

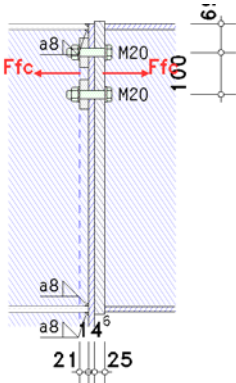
Fläche der Steifen einschl. Steg $A_{st} = 28.50 \text{ cm}^2$

Schlankheitsgrad $\lambda = 0.082$

$\lambda \leq 0.2 \Rightarrow$ keine Abminderung ($\chi = 1.0$)

Bemessungswert für die Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken $F_{c,w,Rd} = 608.9 \text{ kN}$

Grundkomponente 4: Stützenflansch mit Biegung



In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 189.0 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 197.9 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 189.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.37 \text{ kNm}$

Flanschverstärkung: $M_{bp,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_{y,bp}) / \gamma_{M0} = 4.44 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$

$L_b = 81.8 \text{ mm} \leq 114.6 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot M_{bp,Rd}) / m = 582.56 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 262.79 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 262.79 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 178.5 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 197.9 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 178.5 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 2.24 \text{ kNm}$

Flanschverstärkung: $M_{bp,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_{y,bp}) / \gamma_{M0} = 4.19 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$

$L_b = 81.8 \text{ mm} \leq 121.3 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot M_{bp,Rd}) / m = 550.19 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 259.08 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 259.08 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten eines Stützenflanschs mit Biegung (je Schraubenreihe)

$F_{fc,Rd,1} = 262.8 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 189.0 \text{ mm}$

$F_{fc,Rd,2} = 259.1 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 178.5 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Gruppe von Schraubenreihen maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$ (zwischen den Steifen)

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stützenflansch):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 289.0 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 397.9 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 289.0 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 3.62 \text{ kNm}$

Flanschverstärkung: $M_{bp,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff,1} \cdot t_{bp}^2 \cdot f_{y,bp}) / \gamma_{M0} = 6.79 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 705.60 \text{ kN}$

$L_b = 81.8 \text{ mm} \leq 149.8 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ Abstützkräfte können auftreten !

Modus 1: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs (Verfahren 1)

$F_{T,1,Rd} = (4 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot M_{bp,Rd}) / m = 890.79 \text{ kN}$

Modus 2: Schraubenversagen gleichzeitig mit Fließen des T-Stummelflanschs

$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \Sigma F_{t,Rd}) / (m+n) = 494.13 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 705.60 \text{ kN}$

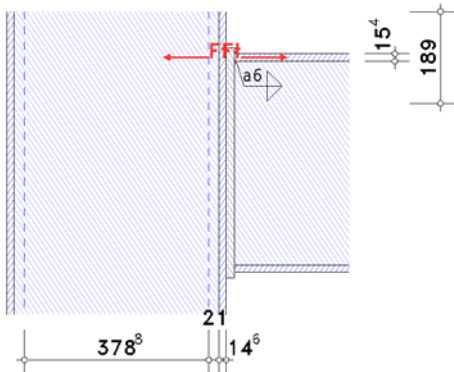
Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 494.13 \text{ kN}$

Tragfähigkeit eines Stützenflanschs mit Biegung (Schraubengruppe, 2 Reihen)

$F_{t,Rd} = 494.1 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 289.0 \text{ mm}$

Grundkomponente 3: Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung

Übertragungsparameter (Tabelle 5.4) $\beta = 1.0$



In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Jede einzelne Schraubenreihe maßgebend:

Reihe 1

wirksame Breite $b_{eff,t} = 189.0 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.929$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 387.9 \text{ kN}$$

Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t} = 178.5 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.936$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 369.0 \text{ kN}$$

Gruppe von Schraubenreihen maßgebend:

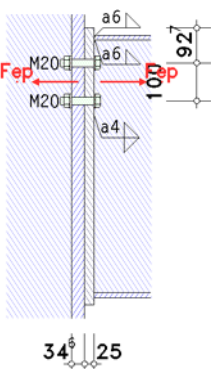
wirksame Breite $b_{eff,t} = 289.0 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 4)

Abminderungsbeiwert für die Interaktion mit Schubbeanspruchung $\beta = 1 \Rightarrow \omega = 0.854$

Tragfähigkeit eines Stützenstegs mit Querkzug

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot (b_{eff,t} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}) / \gamma_{M0} = 545.2 \text{ kN}$$

Grundkomponente 5: Stirnblech mit Biegung



In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Teil des Stirnblechs zwischen den Trägerflanschen

Äquivalenter T-Stummelflansch (jede einzelne Schraubenreihe maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 1$

Reihe 1

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 244.6 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 279.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 244.6 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.98 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$

$L_b = 81.8 \text{ mm} > 49.6 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ keine Abstützkräfte !

Modus 1 und 2: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs ggf. gleichzeitig mit Schraubenversagen

$$F_{T,1-2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 403.91 \text{ kN}$$

Modus 3: Schraubenversagen

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 352.80 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}, l_{eff,cp}) = 230.4 \text{ mm}$, $l_{eff,cp} = 279.4 \text{ mm}$



für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 230.4 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 8.46 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$

$L_b = 81.8 \text{ mm} > 52.7 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ keine Abstützkräfte !

Modus 1 und 2: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs ggf. gleichzeitig mit Schraubenversagen

$F_{T,1-2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 380.44 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 352.80 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 352.80 \text{ kN}$

Tragfähigkeiten eines Stirnblechs mit Biegung (je Schraubenreihe):

$F_{ep,Rd,1} = 352.8 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 244.6 \text{ mm}$

$F_{ep,Rd,2} = 352.8 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 230.4 \text{ mm}$

Äquivalenter T-Stummelflansch (Gruppe von Schraubenreihen maßgebend):

hier: Anzahl Schraubenreihen $n_b = 2$

wirksame Länge des T-Stummelflanschs (Stirnblech):

für Modus 1: $\Sigma l_{eff,1} = \min(\Sigma l_{eff,nc}, \Sigma l_{eff,cp}) = 344.6 \text{ mm}$, $\Sigma l_{eff,cp} = 479.4 \text{ mm}$

für Modus 2: $\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc} = 344.6 \text{ mm}$

Grenzzugkraft des T-Stummelflanschs:

für Modus 1+2: $M_{pl,Rd} = (0.25 \cdot \Sigma l_{eff} \cdot t_f^2 \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 12.65 \text{ kNm}$

für Modus 3: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot n_b \cdot F_{t,Rd} = 705.60 \text{ kN}$

$L_b = 81.8 \text{ mm} > 70.4 \text{ mm} = L_b^* \Rightarrow$ keine Abstützkräfte !

Modus 1 und 2: Vollständiges Fließen des T-Stummelflanschs ggf. gleichzeitig mit Schraubenversagen

$F_{T,1-2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,1,Rd}) / m = 569.03 \text{ kN}$

Modus 3: Schraubenversagen

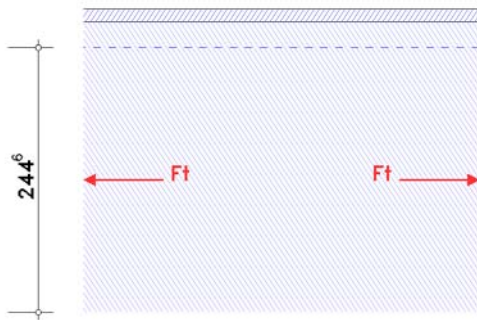
$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 705.60 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des T-Stummelflanschs: $F_{T,Rd} = \min(F_{T,1-2,Rd}, F_{T,3,Rd}) = 569.03 \text{ kN}$

Tragfähigkeit eines Stirnblechs mit Biegung (Schraubengruppe, 2 Reihe(n))

$F_{t,ep,Rd} = 569.0 \text{ kN}$, zugeh. $l_{eff} = 344.6 \text{ mm}$

Grundkomponente 8: Trägersteg mit Zugbeanspruchung



In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Jede einzelne Schraubenreihe maßgebend:

Reihe 1

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 244.6 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 459.9 \text{ kN}$

Reihe 2

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 230.4 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 433.1 \text{ kN}$

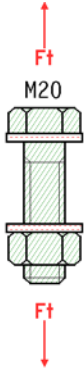
Gruppe von Schraubenreihen maßgebend:

wirksame Breite $b_{eff,t,wb} = 344.6 \text{ mm}$ (Σl_{eff} aus Gk 5)

Tragfähigkeit eines Trägerstegs mit Zugbeanspruchung

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb} / \gamma_{M0} = 647.9 \text{ kN}$

Grundkomponente 10: Schrauben mit Zugbeanspruchung



In der Skizze sind nur die wesentlichen Abmessungen maßstäblich angegeben. Die Geometrie des Anschlusses ist nur angedeutet.

Schraubenkategorie E:

Zugtragfähigkeit einer Schraube: $F_{t,Rd} = (k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s) / \gamma_{M2} = 176.40 \text{ kN}$, $k_2 = 0.90$

Durchstanztragfähigkeit: $B_{p,Rd} = (0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u) / \gamma_{M2} = 265.64 \text{ kN}$, $t_p = 14.6 \text{ mm}$

Zug-/Durchstanztragfähigkeit für 2 Schrauben: $\Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 352.80 \text{ kN}$

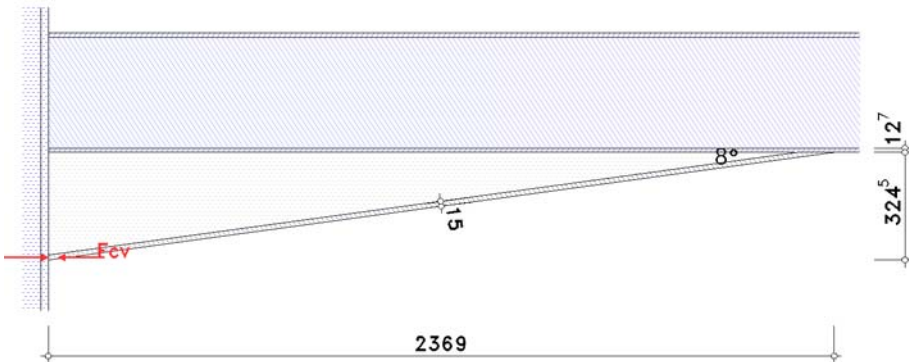
Grundkomponente 20: Gevouteter Träger mit Druckbeanspruchung

Flansch unten: Querschnittsklasse für $c/(\varepsilon \cdot t) = 4.10$: 1

Steg: Querschnittsklasse für $\alpha = 0.49$ und $c/(\varepsilon \cdot t) = 78.53$: 2

Querschnittsklasse des Trägers in der Anschlussebene: 2

Zur Berücksichtigung der Momenten-Querkraft-Interaktion $V_{Ed} = 87.0 \text{ kN}$



Voraussetzung: Voutenflansch nicht beulgefährdet: $c/t = 5.1 \cdot \varepsilon \leq 9 \cdot \varepsilon \Rightarrow$ Q-Klasse 1 **ok**.

Anschluss Voute-Stütze: (Grundkomponente 7: Trägerflansch und -steg mit Druck)

$h = h_b + h_v = 684.5 \text{ mm} > 600 \text{ mm} \Rightarrow$ Annahme: $t'_{w,v} = 0.2 \cdot t_{w,v} = 1.6 \text{ mm}$

Beanspruchung durch Biegung mit Querkraft: $V_{Ed} = 87.0 \text{ kN} \leq 336.9 \text{ kN} = V_{pl,Rd}/2 \Rightarrow$ kein Einfluss

Biegetragfähigkeit $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 407.75 \text{ kNm}$

Tragfähigkeit eines Flanschs und Stegs mit Druck

$F_{c,f,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f) = 609.02 \text{ kN}$

Anschluss­tragfähigkeit

Biege-/Zugtragfähigkeit

Abstand der Zug-Schraubenreihe(n) vom Druckpunkt:

$h_1 = 611.9 \text{ mm}$, $h_2 = 511.9 \text{ mm}$

Tragfähigkeiten nach 6.2.7.2(6) für Schraubenreihen einzeln betrachtet

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4, 5, 8

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 259.1 \text{ kN}$

Abminderungen nach 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stütze)

maßgebende Grundkomponenten: 3, 4

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,w,c,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 545.2 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,f,c,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 494.1 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 3: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,w,c,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 282.4 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 259.1 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 259.1 \text{ kN}$

Gk 4: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,f,c,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN}$

$F_{tr,Rd} = 259.1 \text{ kN} > \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN}$

Abminderungen nach 6.2.7.2(8) für Schraubenreihen als Teil einer Gruppe (Stirnblech)

maßgebende Grundkomponenten: 5, 8

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 569.0 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 647.9 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$
Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$ (Reihe 1)	
Gk 5: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,ep,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 306.2 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN}$
Gk 8: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{t,wb,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 385.1 \text{ kN}$	$F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN}$

Abminderungen nach 6.2.7.2(7)

maßgebende Grundkomponenten: 1, 2, 20

Reihe 1: $\Sigma F_{tr,Rd} = 0.0 \text{ kN}$

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 608.9 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$

Gk 20: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,fv,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 609.0 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$

Reihe 2: $\Sigma F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$ (Reihe 1)

Gk 2: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,wc,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 346.1 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN}$

Gk 20: $\Delta F_{tr,Rd} = F_{c,fv,Rd} - \Sigma F_{tr,Rd} = 346.2 \text{ kN}$ $F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN} < \Delta F_{tr,Rd} \Rightarrow F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN}$

Kontrolle nach 6.2.7.2(9)

maßgebende Grundkomponente: 10

Reihe 1: $F_{tx,Rd} = 262.8 \text{ kN}$, $h_x = 611.9 \text{ mm} \Rightarrow F_{tx,Rd} \leq 0.95 \cdot \Sigma F_{t,Rd} = 335.2 \text{ kN}$, keine Abminderung

Tragfähigkeit je Schraubenreihe (endgültig)

Reihe 1: $F_{tr,Rd} = 262.8 \text{ kN}$

Reihe 2: $F_{tr,Rd} = 231.3 \text{ kN}$

Mögliches Versagen durch Grundkomponente 4

Biegetragfähigkeit

$M_{j,Rd} = \Sigma(F_{tr,Rd} \cdot h_r) = 279.2 \text{ kNm}$

Zugtragfähigkeit

$N_{j,Rd} = M_{j,Rd} / z_{bu} = 871.2 \text{ kN}$

Drucktragfähigkeit

$N_{j,c,Rd} = \min F_{c,Rd} \cdot z / z_{bo} = 1398.8 \text{ kN}$

Nachweise

äquivalenter Hebelarm für 2 Schraubenreihen: $z_{eq} = \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r^2) / \Sigma(k_{eff,r} \cdot h_r) = 567.7 \text{ mm}$

Nachweis der Anschlusstragfähigkeit mit der Komponentenmethode

Normalkraft: $N_{b,Ed} = |N_d \cdot \cos(\alpha) + V_d \cdot \sin(\alpha)| = 58.61 \text{ kN} < 5\% \cdot N_{pl,Rd} = 121.89 \text{ kN} \Rightarrow$ Biegung ohne Normalkraft bez. der Trägerachse

Biegemoment: $M_{Ed} = M_d - N_d \cdot z_{bu} = 268.35 \text{ kNm}$, $z_{bu} = 320.5 \text{ mm}$

$M_{Ed} / M_{j,Rd} = 0.961 < 1$ **ok.**

Nachweis der Stegsteifen (Rippen)

Stütze

Drucksteife: $F_{c,Ed} = 518.41 \text{ kN}$

Kräfte je Rippe

$F = 0.5 \cdot F_{c,Ed} \cdot (b_f \cdot 2 \cdot r \cdot t_w) / b_f = 189.1 \text{ kN}$, $H = F \cdot e_F / e_H = 25.9 \text{ kN}$

Voraussetzung: Steifen nicht beulgefährdet: $c/t = 6.0 \cdot \varepsilon \leq 9 \cdot \varepsilon \Rightarrow$ Q-Klasse $1 \leq 2$ **ok.**

Hinweis: $b_R > 79.0 \text{ mm} \Rightarrow$ Umschweißung nicht möglich, auf Korrosionsschutz achten !!

Querschnitt am Flansch

Drucktragfähigkeit: $F_{c,Rd} = (A \cdot f_y) / \gamma_{M0} = 230.18 \text{ kN}$

Bemessungsgröße $F_{Ed} = (F^2 + 3 \cdot H^2)^{1/2} = 194.3 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 194.3 \text{ kN} < F_{Rd} = 230.2 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.844 < 1$ **ok.**

Querschnitt am Steg

Schubtragfähigkeit: $V_{p,Rd} = (f_y \cdot A_v) / (3^{1/2} \cdot \gamma_{M0}) = 856.40 \text{ kN}$

Bemessungsgröße $F_{Ed} = F = 189.1 \text{ kN}$

$F_{Ed} = 189.1 \text{ kN} < F_{Rd} = 856.4 \text{ kN} \Rightarrow U = 0.221 < 1$ **ok.**

Schweißnähte am Flansch

Tragfähigkeit $F_{w,Rd} = 16.63 \text{ kN/cm}$

Bemessungsgröße $F_{Ed} = (F^2 + H^2)^{1/2} / (2 \cdot b_1) = 14.61 \text{ kN/cm}$, $b_1 = 65.3 \text{ mm}$

$F_{Ed} = 14.61 \text{ kN/cm} < F_{Rd} = 16.63 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.879 < 1$ **ok.**

Schweißnähte am Steg

Tragfähigkeit $F_{w,Rd} = 8.31 \text{ kN/cm}$

Bemessungsgröße $F_{Ed} = F / (2 \cdot l_1) = 2.55 \text{ kN/cm}$, $l_1 = 370.8 \text{ mm}$

$F_{Ed} = 2.55 \text{ kN/cm} < F_{Rd} = 8.31 \text{ kN/cm} \Rightarrow U = 0.307 < 1$ **ok.**

Schubfeldnachweis

Stützensteg

Anforderungen an die Steifen: s. Nachweis der Stegsteifen



Anforderungen an das Schubfeld: s. Beulnachweis

Schnittgrößen am Schubfeld (Statik-Vorzeichen):

$N_3 = -87.00 \text{ kN}$, $M_3 = -287.93 \text{ kNm}$, $V_3 = -45.70 \text{ kN}$, $N_4 = -45.70 \text{ kN}$, $M_4 = -283.64 \text{ kNm}$, $V_4 = 87.00 \text{ kN}$

Abmessungen des Schubfelds: $h_b = 420.8 \text{ mm}$, $h_t = 420.8 \text{ mm}$, $h_l = 560.2 \text{ mm}$, $h_r = 560.2 \text{ mm}$

Spannungen im Schubfeld:

$\tau_b = 119.5 \text{ N/mm}^2$, $\tau_t = 119.5 \text{ N/mm}^2$, $\tau_l = 117.3 \text{ N/mm}^2$, $\tau_r = 117.3 \text{ N/mm}^2$

Nachweis des Schubfelds:

$\max \tau_{Ed} = 119.5 \text{ N/mm}^2 < \tau_{Rd} = 135.7 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow U = 0.881 < 1$ **ok.**

Beulnachweis

Stützensteg

Anforderungen an die Steifen: s. Nachweis der Stegsteifen

Plattenbeulen: Q-Klasse des Stegblechs $1 \leq 2$ **ok.**

Schubbeulen: $h_p/t_p = 44.77 \leq 72/(\eta \cdot \epsilon) = 60.00$ **ok.**

Nachweisergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.961 < 1$ **ok.**

Endergebnis

Maximale Ausnutzung: $\max U = 0.961 < 1$ **ok.**

Nachweis erbracht